

# METHOD AND APPARATUS FOR GENERATING PLASMA, PLASMA-APPLIED SURFACE TREATMENT METHOD AND GAS TREATMENT METHOD

Publication number: JP11224795

Publication date: 1999-08-17

Inventor: SUGIMOTO TOSHIMOTO; GOTO SEIICHI

Applicant: SHIN SEIKI KK; SUGIMOTO TOSHIMOTO; GOTO SEIICHI

Classification:

- international: H05H1/36; C23C16/50; C23C16/515; H01L21/205; H01L21/302; H01L21/3065; H05H1/26; C23C16/50; H01L21/02; (IPC1-7): H05H1/36; C23C16/50; H01L21/205; H01L21/3065

- european:

Application number: JP19980028277 19980210

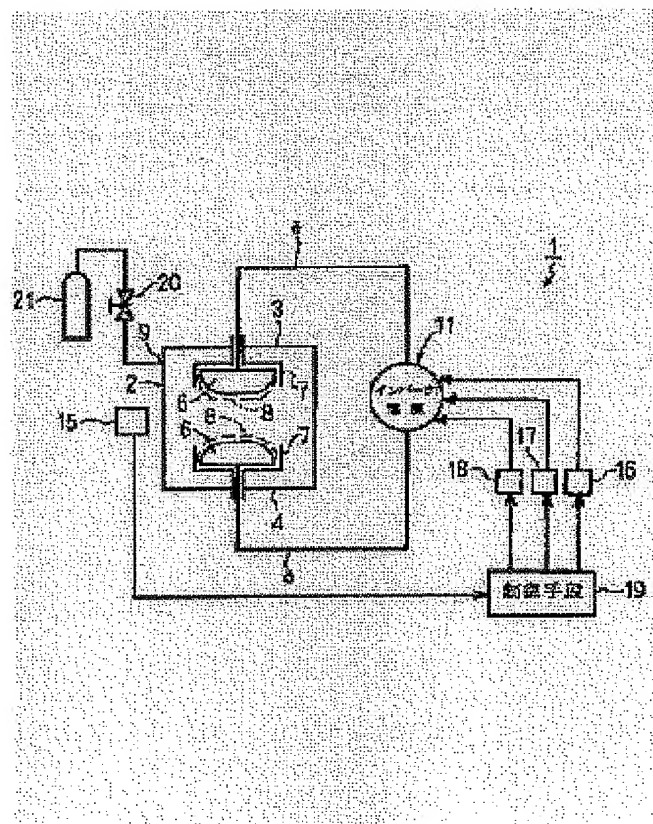
Priority number(s): JP19980028277 19980210

[Report a data error here](#)

## Abstract of JP11224795

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To solve problems attributable to the charge-up in generating the plasma, to smoothly generate the plasma with simple constitution at a low cost, and stabilize the plasma for a long time.

**SOLUTION:** The plasma is generated by generating the alternating voltage to represent the pulse waveform using a high-voltage DC power supply and an inverter power supply 11 having a small switching circuit, and applying the alternating voltage to a pair of electrodes 6 arranged opposite to each other. A control means 19 to keep the plasma condition at the prescribed target condition based on the signal from a light intensity detecting means 15, a current value detecting means, or an impedance detecting means, is provided.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-224795

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月17日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 5 H 1/36

H 0 5 H 1/36

C 2 3 C 16/50

C 2 3 C 16/50

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 21/205

21/3065

21/302

B

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-28277

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月10日

特許法第30条第1項適用申請有り 平成9年11月18日～  
11月19日 社団法人電気学会開催の「プラズマ研究会」  
において文書をもって発表

(71) 出願人 591243985

株式会社伸精機

京都府京都市伏見区岡替町14丁目166番地

(71) 出願人 598018340

杉本 敏司

奈良県奈良市七条1-5-14

(71) 出願人 598018351

後藤 誠一

大阪府吹田市山田東3-18-1-1118

(72) 発明者 杉本 敏司

奈良県奈良市七条1-5-14

(72) 発明者 後藤 誠一

大阪府吹田市山田東3-18-1-1118

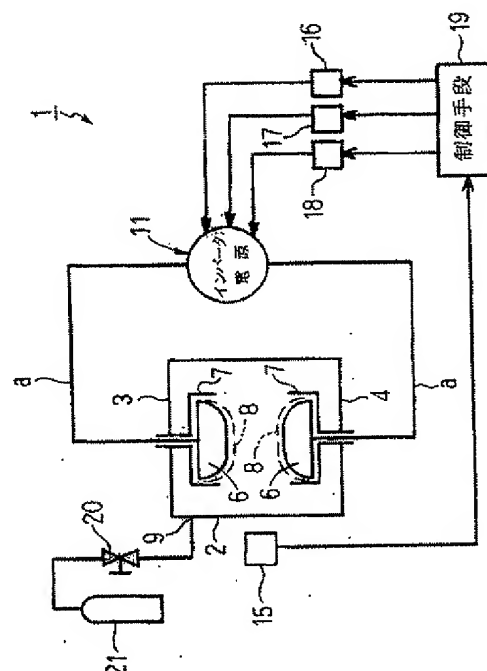
(74) 代理人 弁理士 矢野 正行

(54) 【発明の名称】 プラズマ生成方法、プラズマ生成装置、プラズマ利用表面処理方法、並びにプラズマ利用ガス処理方法

(57) 【要約】

【目的】 チャージアップに起因するプラズマ生成時の弊害を除去すると共に、スムーズなプラズマの生成を極めて簡素な構成をもって低コストで行えるようにし、且つ長時間にわたるプラズマの安定化を図る。

【構成】 高圧直流電源12及び小型スイッチング回路13を有するインバータ電源11を用いてパルス波形を呈する交番電圧を生じさせると共に、相互に対向状に配設された一対の電極6に対して上記交番電圧を印加することによりプラズマを生成させるように構成する。そして、光強度検出手段15または電流値検出手段22もしくはインピーダンス検出手段からの信号に基づいてプラズマの状態を一定の目標状態に維持するための制御手段19を備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 高圧直流電源及び小型スイッチング回路を有するインバータ電源を用いてパルス波形を呈する交番電圧を生じさせると共に、相互に対向状に配設された一対の電極に対して上記交番電圧を印加することによりプラズマを生成させるようにしたことを特徴とするプラズマ生成方法。

【請求項2】 高圧直流電源及び小型スイッチング回路を有し且つパルス波形を呈する交番電圧を生じさせるインバータ電源と、該インバータ電源の小型スイッチング回路に電気的に接続され且つ所定寸法離間して対向状に配設された一対の電極とを備えたことを特徴とするプラズマ生成装置。

【請求項3】 高圧直流電源及び小型スイッチング回路を有し且つパルス波形を呈する交番電圧を生じさせるインバータ電源と、該インバータ電源の小型スイッチング回路に電気的に接続され且つ所定寸法離間して対向状に配設された一対の電極と、該電極に上記交番電圧を印加することにより生成されるプラズマの光強度を検出する光強度検出手段と、該光強度検出手段からの信号に基づいて上記交番電圧の電圧値と周波数とデューティ比とのうちの少なくともいずれか一つを制御する制御手段とを備えたことを特徴とするプラズマ生成装置。

【請求項4】 高圧直流電源及び小型スイッチング回路を有し且つパルス波形を呈する交番電圧を生じさせるインバータ電源と、該インバータ電源の小型スイッチング回路に電気的に接続され且つ所定寸法離間して対向状に配設された一対の電極と、該電極間を流れる電流値を検出する電流値検出手段と、該電流値検出手段からの信号に基づいて上記交番電圧の電圧値と周波数とデューティ比とのうちの少なくともいずれか一つを制御する制御手段とを備えたことを特徴とするプラズマ生成装置。

【請求項5】 高圧直流電源及び小型スイッチング回路を有し且つパルス波形を呈する交番電圧を生じさせるインバータ電源と、該インバータ電源の小型スイッチング回路に電気的に接続され且つ所定寸法離間して対向状に配設された一対の電極と、該電極間のインピーダンスを検出するインピーダンス検出手段と、該インピーダンス検出手段からの信号に基づいて上記交番電圧の電圧値と周波数とデューティ比とのうちの少なくともいずれか一つを制御する制御手段とを備えたことを特徴とするプラズマ生成装置。

【請求項6】 請求項1に記載の方法または請求項2、3、4もしくは5に記載の装置を使用して生成されたプラズマ中に、高分子材料またはセラミック材料の表面を晒すことにより、当該表面の状態を改質するようにしたことを特徴とするプラズマ利用表面処理方法。

【請求項7】 請求項1に記載の方法または請求項2、3、4もしくは5に記載の装置を使用して生成されたプラズマ中に、金属材料の表面を晒すことにより、当該表

面に薄膜を形成するようにしたことを特徴とするプラズマ利用表面処理方法。

【請求項8】 請求項1に記載の方法または請求項2、3、4もしくは5に記載の装置を使用して生成されたプラズマ中に、生体代替品もしくは生体装着品の表面を晒すことにより、当該表面の親水性を向上させるようにしたことを特徴とするプラズマ利用表面処理方法。

【請求項9】 請求項1に記載の方法または請求項2、3、4もしくは5に記載の装置を使用して生成されたプラズマ中に、汚染物の表面を晒すことにより、当該表面の消毒を行うようにしたことを特徴とするプラズマ利用表面処理方法。

【請求項10】 請求項1に記載の方法または請求項2、3、4もしくは5に記載の装置を使用して生成されたプラズマ中に、有害ガスを導入することにより、当該ガス中に含有されている有害成分を低減もしくは除去するようにしたことを特徴とするプラズマ利用ガス処理方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本願発明は、プラズマ生成方法、プラズマ生成装置、プラズマ利用表面処理方法、並びにプラズマ利用ガス処理方法に係り、詳しくは、パルス波形を呈する交番電界を励起源としてプラズマを生成させるための技術、及びその応用技術に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年においては、種々の分野でプラズマの利用が推進されるに至っているが、この種のプラズマを生成する手法としては、通例、高周波やマイクロ波等の正弦波電圧を、相互に対向状に配設された一対の電極に対して印加することにより行われている。そして、この種のプラズマの生成装置は、高性能な真空装置と組み合わせ使用されるのが通例であり、従って、プラズマの生成は比較的高度な真空雰囲気中で行う必要があるとされていた。

【0003】一方、この種のプラズマ生成手法の変形的具体例として、例えば特開昭61-149486号公報及び特開昭62-50472号公報によれば、電極に対してプラズマ生成用の高周波電圧をパルス状に印加する構成が開示されている。しかしながら、これらの公報に開示の技術はいずれも、高周波電圧を間欠的に印加するものであり、換言すれば、1パルスが複数周波数の正弦波電圧として形成された疑似パルス信号を印加するものであって、基本的には上記の場合と同様にして、正弦波電圧を利用してプラズマを生成させるものである。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記従来におけるプラズマの生成手法では、電極に対する供給電圧が正弦波形を呈しているが故に、現実にはプラズマ生成に寄与される電源のエネルギー効率が極めて低下するとい

う問題が生じる。そして、これに起因して、電力消費量が大きくなると共に、熱の発生を抑制するための冷却装置等が別途必要になり、省エネルギー化を図る上で大きな妨げになる。

【0005】また、上記従来のようにプラズマの生成に正弦波電圧を使用していたのでは、当該電圧の立ち上がりが緩やかであることに起因して、一對の電極間における一部で集中して電界が生じることにより、その箇所の絶縁性が局部的に低下することになるため、プラズマの生成についてもその箇所のみが活発化され、電極相互間における均一なプラズマの生成が阻害される。加えて、この種の正弦波電圧によれば、当該電圧の立ち下がりも緩やかであるため、一旦生成されたプラズマが瞬時に消失されることはなく、これに起因して、プラズマ特性としては好ましくない状態のアークプラズマが生成され易くなるという問題をも有している。

【0006】そして、上記アークプラズマは、真空度の高い雰囲気中では生成され難いという特性があるため、このアークプラズマの生成を阻止するには、極めて高性能の真空装置例えば高価なターボ分子ポンプ等を備えた真空装置が必要になり、当該装置の複雑化やそのコストの上昇等を招くことになる。

【0007】更に、上記従来 of プラズマ生成技術は、パルス発生用の電気的構成手段として、極めて効率の悪い電源回路等を使用している嫌いがあり、またその回路構成についても小型化や簡素化等を図るための工夫が何らなされておらず、このためプラズマ生成用の装置の更なる複雑化や大型化を招くばかりでなく、更なるコストの高騰をも来すという問題をも有している。

【0008】加えて、上記従来 of プラズマ生成手法によれば、例えば既存の材料等である被処理物の表面をプラズマ中に晒すことによりその表面状態を改質しようとした場合などにおいては、正弦波電圧の変動低下に起因する電圧値の不足及びこれに伴う当該被処理物の表面に対する電気的付着力や電気的処理力の不足を補うことを目的として、直流の正または負のバイアス電圧を被処理物に与えるようにし、当該処理に関連する負や正の電荷を持つ粒子を静電気力により被処理物の表面に衝突させることが行われる。しかしながら、このような処理が持続して行われた場合には、当該被処理物の表面が負の電荷のみ又は正の電荷のみで覆われることになる所謂チャージアップ現象を招来する。そして、これに起因して、上記表面状態の改質がスムーズに行われ得なくなるばかりでなく、均一なプラズマの生成が阻害されるなどして、プラズマの生成そのものに支障を来すという不具合を招く。このような問題は、上記被処理物の表面部が絶縁性材料で形成されている場合に顕著に現れる。

【0009】尚、このチャージアップの問題に対しては、例えば特開平8-92765号公報によれば、電極に対して正のみの高周波電圧をパルス状に印加すること

により、チャージアップダメージの発生を抑制するとの記載内容が存在する。しかしながら、この公報のようにプラズマ生成用に正電圧のみを印加していたのでは、当該被処理物の表面が負の電荷のみで覆われてしまうおそれがあり、チャージアップによる弊害を完全に回避することは困難なことであると共に、この場合のプラズマ生成用の電圧は、高周波自体をパルス化した疑似パルス信号であるため、正弦波形を呈していることによる上記列挙した事項と同様の問題が生じる。また、例えば特開平8-139077号公報によれば、パルス波形を呈するバイアス電圧を被処理物に印加することにより、電子シェーディングすなわちチャージアップ等による弊害を除去するようにした構成が開示されている。しかしながら、この公報に開示の技術は、チャージアップを防止するためのバイアス電圧としてパルス信号を印加しているものであるのに対して、プラズマ生成用の電圧としては、マグネトロンで発生したマイクロ波を利用して得られる電圧すなわち正弦波形を呈する電圧を印加しているものである。従って、この公報に開示の技術によるにしても、チャージアップによる弊害の抑制については期待できるものの、プラズマ生成用の電圧が正弦波形を呈していることによる上記列挙した事項と同様の問題が生じることに加えて、チャージアップ防止用の電源装置と、プラズマ生成用の電源装置との2系統の電気系が必要になり、電源装置についてはプラズマ生成装置の大型化や複雑化を余儀なくされるという問題をも有している。

【0010】また、従来より公知となっているプラズマ生成用装置によれば、現実に発生しているプラズマの状態を目標となる状態に常に維持するという事項については、何ら考慮がなされておらず、従って、プラズマの状態が生成途中で好まざる状態に変化してしまう等の不具合を招き、長時間にわたって安定した状態のプラズマが得られないという難点をも有している。

【0011】本願発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、単一の電源装置によりチャージアップに起因するプラズマ生成時の弊害を除去すると共に、均一なプラズマの生成を極めて簡素な構成をもって低コストで行えるようにし、且つ低真空中或いは大気中であっても良質のプラズマが生成され得るようにし、而も長時間にわたるプラズマの安定化を図ることを技術的課題とするものである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本願発明に係るプラズマ生成方法、プラズマ生成装置、プラズマ利用表面処理方法、並びにプラズマ利用ガス処理方法は、上記技術的課題を達成するため、以下に示すように構成したことを特徴とする。

【0013】即ち、本願の請求項1に記載したプラズマ生成方法に係る発明は、高圧直流電源及び小型スイッチング回路を有するインバータ電源を用いてパルス波形を

呈する交番電圧を生じさせると共に、相互に対向状に配設された一対の電極に対して上記交番電圧を印加することによりプラズマを生成させるようにしたものである。

【0014】本願の請求項2に記載したプラズマ生成装置に係る発明は、高圧直流電源及び小型スイッチング回路を有し且つパルス波形を呈する交番電圧を生じさせるインバータ電源と、該インバータ電源の小型スイッチング回路に電氣的に接続され且つ所定寸法離間して対向状に配設された一対の電極とを備えたものである。

【0015】本願の請求項3に記載したプラズマ生成装置に係る発明は、高圧直流電源及び小型スイッチング回路を有し且つパルス波形を呈する交番電圧を生じさせるインバータ電源と、該インバータ電源の小型スイッチング回路に電氣的に接続され且つ所定寸法離間して対向状に配設された一対の電極と、該電極に上記交番電圧を印加することにより生成されるプラズマの光強度を検出する光強度検出手段と、該光強度検出手段からの信号に基づいて上記交番電圧の電圧値と周波数とデューティ比とのうちの少なくともいずれか一つを制御する制御手段とを備えたものである。

【0016】本願の請求項4に記載したプラズマ生成装置に係る発明は、高圧直流電源及び小型スイッチング回路を有し且つパルス波形を呈する交番電圧を生じさせるインバータ電源と、該インバータ電源の小型スイッチング回路に電氣的に接続され且つ所定寸法離間して対向状に配設された一対の電極と、該電極間を流れる電流値を検出する電流値検出手段と、該電流値検出手段からの信号に基づいて上記交番電圧の電圧値と周波数とデューティ比とのうちの少なくともいずれか一つを制御する制御手段とを備えたものである。

【0017】本願の請求項5に記載したプラズマ生成装置に係る発明は、高圧直流電源及び小型スイッチング回路を有し且つパルス波形を呈する交番電圧を生じさせるインバータ電源と、該インバータ電源の小型スイッチング回路に電氣的に接続され且つ所定寸法離間して対向状に配設された一対の電極と、該電極間のインピーダンスを検出するインピーダンス検出手段と、該インピーダンス検出手段からの信号に基づいて上記交番電圧の電圧値と周波数とデューティ比とのうちの少なくともいずれか一つを制御する制御手段とを備えたものである。

【0018】本願の請求項6に記載したプラズマ利用表面処理方法に係る発明は、上述の請求項1に記載の方法または請求項2、3、4もしくは5に記載の装置を使用して生成されたプラズマ中に、高分子材料またはセラミック材料の表面を晒すことにより、当該表面の状態を改質するようにしたものである。

【0019】本願の請求項7に記載したプラズマ利用表面処理方法に係る発明は、上述の請求項1に記載の方法または請求項2、3、4もしくは5に記載の装置を使用して生成されたプラズマ中に、金属材料の表面を晒すこ

とにより、当該表面に薄膜を形成するようにしたものである。

【0020】本願の請求項8に記載したプラズマ利用表面処理方法に係る発明は、上述の請求項1に記載の方法または請求項2、3、4もしくは5に記載の装置を使用して生成されたプラズマ中に、生体代替品もしくは生体装着品の表面を晒すことにより、当該表面の親水性を向上させるようにしたものである。

【0021】本願の請求項9に記載したプラズマ利用表面処理方法に係る発明は、上述の請求項1に記載の方法または請求項2、3、4もしくは5に記載の装置を使用して生成されたプラズマ中に、汚染物の表面を晒すことにより、当該表面の消毒を行うようにしたものである。

【0022】本願の請求項10に記載したプラズマ利用ガス処理方法に係る発明は、上述の請求項1に記載の方法または請求項2、3、4もしくは5に記載の装置を使用して生成されたプラズマ中に、有害ガスを導入することにより、当該ガス中に含有されている有害成分を低減もしくは除去するようにしたものである。

20 【0023】

【発明の作用及び効果】上記請求項1に記載したプラズマ生成方法によると、高圧直流電源と小型スイッチング回路とを有するインバータ電源を使用しており、上記小型スイッチング回路は例えばMOSFET素子やTTL素子等の小型半導体素子で構成することが可能である。そして、このような構成のインバータ電源を使用すれば、電力消費量の削減が可能になるのみならず、電圧や電流の制御をスイッチングのみで行えることになる。従って、プラズマ生成用の電気回路構成が極めて簡素化され且つ小型化されると共に、部品点数の削減並びにコストの低廉化等を図ることが可能になる。

30

【0024】また、上記インバータ電源により得られるプラズマ生成用の電圧は、パルス波形を呈しているが故に、従来の正弦波電圧に比して電源のエネルギー効率が向上し、これに伴って更なる電力消費量の削減が図られると共に、熱の発生量が低減されることから冷却装置等を別途備える必要性がなくなり、装置全体の大型化や複雑化を回避できることになる。

40

【0025】更に、上記プラズマ生成用の電圧がパルス波形を呈していることから、当該電圧が瞬時に立ち上がることに起因して、一対の電極間における絶縁性が広範囲にわたって均一に損なわれることになり、これにより局所的な電界の集中発生に伴うプラズマの偏在が回避され、電極相互間における均一なプラズマの生成が可能になる。

【0026】加えて、この種のパルス電圧は、その立ち下がりも瞬時に行われるため、一旦生成されたプラズマも瞬時に消失されることになり、これによりアークプラズマが生成されなくなる。この結果、アークプラズマの発生を未然に阻止するための高真空雰囲気が必要にな

り、低真空中や大気中においても良好にプラズマを生成することが可能になることから、高価なターボ分子ポンプ等を備える必要がなくなつて、安価なロータリーポンプ等を備えるのみで充分となり、真空装置の低コスト化等を図ることが可能になる。

【0027】また、このようにパルス電圧は、その立ち上がり及び立ち下がりが瞬時に行われるものであるから、例えばこのパルス電圧により生成されるプラズマを利用して被処理物の表面改質を行う場合などにおいては、電圧が印加されている間は常に一定の電圧値を確保でき、従来の正弦波電圧のようにその電圧値が変動低下して所要の電気的付着力や電気的処理力等を確保できなくなるという事態は生じず、このためバイアス電圧を別途印加する必要性もなくなる。

【0028】更に、電圧の極性は、上記スイッチングを行うことにより所定の周期で反転される構成であり、このようにして得られた交番電圧に基づいて生成されるプラズマ中に被処理物を晒しても、印加電圧の極性が繰返し反転することから、上記被処理物の表面に正の電荷のみ又は負の電荷のみが蓄積されることはなくなり、チャージアップ現象の招来及びこれに伴う種々の弊害が回避される。尚、このような現象は、被処理物の少なくとも表面部が絶縁性材料で形成されている場合に、特に有効なものとなる。

【0029】また、上記のようにスイッチングのみで得られた交番電圧による駆動は、従来のようにオーム損失を伴う通常の正弦波電圧による駆動と異なり、高いエネルギー効率を所有するのは勿論のこと、スイッチングの制御を工夫することにより、任意の周波数を有する種々の波形の出力信号を得ることができ、高い制御性を確保することが可能になる。

【0030】尚、上記スイッチングにより得られる交番電圧の電圧値は、ピークツーピークで10V~1MV、好ましくは100V以上、更に好ましくは300V~10KVであり、また、その周波数は、0.1Hz~10GHz、好ましくは100Hz~1MHz、更に好ましくは1KHz~100KHzである。

【0031】上記請求項2に記載した発明は、既述の場合と同様の構成とされたインバータ電源と、このインバータ電源に接続された一対の電極とを備えてなるプラズマ生成装置に係るものである。従つて、この場合にも、上記請求項1の場合と同様の作用効果が得られることになる。

【0032】上記請求項3に記載したプラズマ生成装置によると、上述の請求項2に係る装置の構成に加えて、プラズマの光強度を検出する光強度検出手段と、この検出手段からの信号に基づいて交番電圧の3種の変数要素のうちの少なくともいずれか一つを制御する制御手段とを備えたものである。詳しくは、この制御手段は、光強度検出手段からの信号に基づいて、交番電圧の電圧値、

周波数、デューティー比のうちの少なくともいずれか一つの制御を行う。つまり、プラズマの光強度が例えば常に一定になるようにフィードバック制御を行うのである。このようにプラズマの光強度が一定であれば、プラズマの状態も一定の状態に維持されていることになるから、上記のように3種の変数要素を適宜変化させながら上記フィードバック制御を行うことにより、プラズマが生成されている途中で意に反してその光強度が変化して不安定な状態になる等の不具合が回避され、プラズマを長時間にわたって所望の安定状態に維持し続けることが可能になる。尚、上記光強度検出手段としては、例えばフォトダイオードが使用される。

【0033】上記請求項4に記載したプラズマ生成装置によれば、プラズマの状態を安定化させるためのフィードバック制御を行うに際して、電流値検出手段の動作により一対の電極間を流れる電流値を検出し、この電流値が例えば常に一定となるように、制御手段が上記と同様に3種の変数要素の少なくともいずれか一つを制御するのである。このように電極間を流れる電流値が一定であれば、プラズマの状態も一定の状態に維持されているものと判断できることから、上述の請求項3の場合と同様に、プラズマを常に所望の安定状態に維持できることになる。尚、上記電流値検出手段としては、例えば電流計が使用される。

【0034】上記請求項5に記載したプラズマ生成装置によれば、プラズマの状態を安定化させるためのフィードバック制御を行うに際して、インピーダンス検出手段の動作により一対の電極間におけるインピーダンスを検出し、このインピーダンスが例えば常に一定となるように、制御手段が上記と同様に3種の変数要素の少なくともいずれか一つを制御するのである。このように電極間におけるインピーダンスが一定であれば、プラズマの状態も一定の状態に維持されているものと判断できることから、上述の請求項3の場合と同様に、プラズマを常に所望の安定状態に維持できることになる。尚、上記インピーダンス検出手段としては、例えば電流計と電圧計との両者が使用される。

【0035】上記請求項6に記載したプラズマ利用表面処理方法によれば、既述の発明方法や発明装置を使用して生成されたプラズマ中に、高分子材料例えばプラスチックシートやプラスチック部品等の表面またはセラミック材料の表面を晒し、これにより当該高分子材料またはセラミック材料の表面状態を改質するのである。

【0036】この場合における上記表面状態を改質するための具体的手法を詳述すると、例えばフッ素元素を含むガスをプラズマ化し、このプラズマ中にプラスチックシート等の表面を晒した場合には、該シートの表面がフッ素コーティングされた状態となり、これにより撥水性に富んだ表面状態が得られる。このような作用は、セラミック材料でなる各種部品の表面についても、同様にし

て行われ得る。

【0037】また、これとは逆に、例えば酸素元素または窒素元素のいずれか一方または双方を含むガスをプラズマ化し、このプラズマ中にプラスチックシート等の表面を晒した場合には、撥水性が悪化して親水性に富んだ表面状態が得られる。何故ならば、高分子材料はCとHとの化学的結合により構成されており、これが例えば酸素元素を含むガスのプラズマ中に晒された場合には、C、O、Hの化学的結合が得られることになるが、このような状態となった高分子材料表面は水分子と結合し易いという特性を有しているからである。また、同様にして、窒素元素を含むガスのプラズマ中に高分子材料を晒した場合に、C、N、Hの化学的結合が得られることになるが、このような表面状態の場合にも水分子と結合し易くなるという特性を有している。加えて、酸素元素と窒素元素との双方を含むガスのプラズマ中に高分子材料を晒した場合にも、C、O、Hの化学的結合とC、N、Hの化学的結合との両者が混在した状態となり、この両者はいずれも上記のように水分子と結合し易いという特性を有している。このような作用は、セラミック材料でなる各種部品についても、基本的には同様にして行われ得る。但し、セラミック材料は、本来的にはHを化学的結合要素として含有していないため、上記と同様の作用を得るには、水素ガスや水蒸気等を供給した雰囲気中でプラズマを生成させる必要がある。

【0038】更に、他の具体的手法を詳述すると、例えばヘリウムやアルゴン等の不活性ガスをプラズマ化し、このプラズマ中にプラスチック部品等の表面を晒した場合に、その運動エネルギーにより当該表面が乱雑に叩打された状態となり、これにより凹凸を有する表面状態が得られる。このような処理は、プラスチック部品のメッキ工程における前処理として有効利用できると共に、薬品を使用する必要性がなくなってドライ化による工程の簡素化が推進され、廃液による汚染等の問題が生じなくなる。尚、上記例示したヘリウム及びアルゴンは、プラズマ化が容易に行えと共にその使用に際しては安全性が確保でき而も低コストであるという利点を有しているが、これら以外の元素を含むガスをプラズマ化したものであっても上記と同様の効果を得ることは可能である。

【0039】上記請求項7に記載したプラズマ利用表面処理方法によれば、上述の請求項1乃至5に記載の発明方法や発明装置を使用して生成されたプラズマ中に、金属材料例えばステンレス、銅、アルミなどの表面を晒し、これにより当該金属材料の表面に薄膜を形成するのである。

【0040】この場合における上記薄膜形成の具体的手法を詳述すると、例えば二酸化炭素、メタンガス、エタンガス、エチレンガス、ブタン、もしくはプロパン等のように炭素元素を含むガスをプラズマ化し、このプラズ

マ中に金属材料の表面を晒すことにより、その表面にカーボンの薄膜が形成される。また、例えばシランガス等のように珪素元素を含むガスをプラズマ化し、このプラズマ中に金属材料の表面を晒した場合に、その表面にアモルファスシリコンの薄膜が形成される。更に、例えばデカボラン等のようにホウ素元素を含むガスをプラズマ化し、このプラズマ中に金属材料の表面を晒した場合に、その表面にボロンの薄膜が形成される。加えて、例えば窒素ガスをプラズマ化し、このプラズマ中に金属材料の表面を晒した場合に、その表面部にチッ化処理が施される。そして、上記列挙した手法によれば、いずれの表面についても耐摩耗性等に優れた表面特性が得られることになる。

【0041】上記請求項8に記載したプラズマ利用表面処理方法によれば、上述の請求項1乃至5に記載の発明方法や発明装置を使用して生成されたプラズマ中に、生体代替品もしくは生体装着品の表面を晒し、これにより当該代替品や装着品の表面の親水性を向上させるのである。尚、上記生体代替品としては、人工骨、人工血管または人工角膜などが挙げられ、また上記生体装着品としては、コンタクトレンズ（特に、近年普及している使い捨てのもの）などが挙げられる。

【0042】この場合における上記表面処理の具体的手法を詳述すると、例えば酸素元素または窒素元素のいずれか一方または双方を含むガスをプラズマ化し、このプラズマ中に生体代替品や生体装着品の表面を晒すことにより、親水性に富んだ表面状態が得られる。尚、このように酸素元素や窒素元素の存在に起因して親水性が改善される理由は、既に述べた通りである。この場合において、生体代替品のうちの人工骨（セラミックス製）について考察してみると、人工骨と生体骨とを接続する場合には、人工骨が親水性に富んでいれば生体骨との間の接着性或いは密着性が改善されて、剥離が生じ難い状態になり、両者の接続が円滑且つ堅固に行われることになる。同様にして、他の生体代替品についても、親水性に富んでいることから生体との接続が良好に行われる。また、生体装着品のうちのコンタクトレンズについては、親水性が向上して撥水性が悪化することになることから、装着後においては容易に剥がれ落ちないことになる。

【0043】上記請求項9に記載したプラズマ利用表面処理方法によれば、上述の請求項1乃至5に記載の発明方法や発明装置を使用して生成されたプラズマ中に、汚染物の表面を晒し、これにより当該汚染物の表面を消毒するのである。尚、上記汚染物としては、例えば遺伝子交換をしている現場などで使用される医療用等の器具類であって、特にタンパク質等の有機物やDNAにより汚染された物品などが挙げられる。

【0044】この場合における上記表面処理の具体的手法を詳述すると、この表面処理方法は加熱処理に伴う熱

分解作用を利用するものであるため、プラズマ化するガスの含有元素の種類については、厳格な制約を受けることはない。そして、極めて高温状態のプラズマ中に上記汚染物の表面を晒すことにより、その表面に付着しているタンパク質やDNAが熱分解され、これにより消毒が完了する。従って、加熱処理を試みるに際して例えば焼却用のバーナー等を使用する必要性がなくなり、簡素且つコンパクトな構成で而も十分な安全性を確保した状態で消毒を行うことが可能になる。

【0045】上記請求項10に記載したプラズマ利用ガス処理方法によれば、上述の請求項1乃至5に記載の発明方法や発明装置を使用して生成されたプラズマ中に、有害ガスを導入し、これにより当該ガス中の有害成分を低減もしくは除去するのである。尚、上記有害ガスとしては、例えば焼却炉等から排出されるガスであってダイオキシン及びNO<sub>x</sub>等を含有しているものや、遺伝子交換をしている現場で汚染された空気などが挙げられる。

【0046】この場合における上記ガス処理の具体的手法を詳述すると、このガス処理方法も既述の場合と同様に加熱処理に起因する分解作用を利用するものであるため、プラズマ化するガスの含有元素の種類については、厳格な制約を受けることはない。そして、ダイオキシンをプラズマ中に晒すことにより、ダイオキシンを構成しているベンゼン環相互の化学的結合がプラズマの高熱により切離されて分解され、この後、急激に冷却することにより、塩素化合物は生成されるがダイオキシンに類似する有害物質は生成されない。また、NO<sub>x</sub>についても同様にして、NとOとの化学的結合がプラズマの高熱により切離されて分解される。一方、遺伝子交換現場の汚染空気は、プラズマ中に晒されることにより、汚染空気中に混入されているタンパク質やDNAが加熱処理に起因して熱分解され、これらの有害物質が除去されることになる。

【0047】

【実施例】以下、本願発明に係るプラズマ生成方法、プラズマ生成装置、プラズマ利用表面処理方法、並びにプラズマ利用ガス処理方法の実施例を図面に基づいて説明する。

【0048】図1は、本願発明の実施例に係るプラズマ生成装置の本体部分の外観を示す斜視図である。同図に示すように、このプラズマ生成装置1の反応室Xは、円筒形の筒状体2と、該筒状体2の上方を封止する上蓋体3と、該筒状体2の下方を封止する大径の下蓋体4とにより画成される空間として構成されており、上記下蓋体4の外周縁部分には下方に突出する三本の脚体5が固定されている。上記筒状体2、上蓋体3及び下蓋体4は、透明のアクリル樹脂材料で形成されており、これにより内部の反応室X全体が観察できるように配慮がなされている。

【0049】上記反応室Xの略中央部分には、相互間に

所定の隙間を介在させて一対の電極6が配設されており、この両電極6は、テフロン等である絶縁性カバー7に保持された状態で上蓋体3と下蓋体4とにそれぞれ取り付けられている。上記両電極6の表面部分はそれぞれ、プラズマの均一化を図るための絶縁フィルム8で覆われている。この場合において、上記絶縁フィルム8に代えて、ガラス板やセラミック板等を使用することも可能であり、これらの使用であっても同様にしてプラズマの均一化が図られる。また、この実施例では、上記両電極6相互間の隙間の大きさが可変となるように、少なくとも一方の電極6が上下動可能に構成されている。この可変機構は、詳細には図示しないが、例えば上蓋体3及び/または下蓋体4に雌ねじ部を有するナット部材を固設する一方、電極6側に雄ねじ部を有するねじ軸を固設し、上記ナット部材とねじ軸とを螺合させて相対回転可能に保持することにより構成される。尚、上記筒状体2の周壁には、反応室X内へのガス導入口を有する導入管9と、ガス排出口を有する排出管10とが取り付けられている。

【0050】上記両電極6には、それぞれ信号線aが導通して引き通されており、この信号線aは、インバータ電源に電気的に接続されている。

【0051】図2に示すように、上記インバータ電源11は、基本的には、高圧直流電源12と、MOSFET素子等の半導体素子である小型スイッチング回路13とから構成されている。そして、この小型スイッチング回路13の一対のスイッチ切換部14が、図示のような一方側の接点への接続状態から、他方側の接点への接続状態に切り換わることにより、電極6に対して印加される電圧の極性が反転されるようになっている。尚、必要ならば、上記電極6の少なくとも一方に、直流電圧によるバイアスを印加するようにしてもよい。

【0052】上記インバータ電源11により生成される電圧の波形としては、例えば図3に示す(a)～(d)の形態を一例として挙げることができ、これらはいずれも、パルス波形を呈する交番電圧とされている。この交番電圧の電圧値は、ピークツーピークで、100V以上であることが好ましい。これは、一対の電極6間には被処理物を介在させるための隙間を確保する必要があり、この被処理物が例えば薄肉状のシート等の場合であっても、約0.1mm程度の隙間が必要になる。そして、一対の電極6間にこの程度の隙間が存在する場合において、プラズマを良好に生成させるには、少なくとも100Vの電圧値が必要になるからである。また、この電圧値は、300V～10KVであることが更に好ましい。これは、上記被処理物が薄肉状のものでない場合には、上記一対の電極6間の隙間を大きくせねばならず、これに相当する隙間が存在している状態で良好なプラズマを生成させるには300V以上が妥当である一方、10KV以上であれば装置が稍大型化する嫌いがあることによる。

尚、この電圧値は、10V～1MVの範囲内にあれば充分な効果を発揮できるものである。これは、仮に10V以下であれば上記電極6間の隙間を可及的狭くしてもプラズマを良好に生成させることができず、また1MV以上であれば装置が必要以上に大型化されてしまうからである。

【0053】一方、この交番電圧の周波数は、100Hz～1MHzであることが好ましい。これは、プラズマの生成状態を良好にして処理速度を適度に速めるには100Hz以上とする必要がある一方、1MHz以上であればインバータ電源のエネルギー効率の向上効果が十分に得られなくなるからである。また、この交番電圧の周波数は、1KHz～100KHzであることが更に好ましい。これは、上記処理速度を十分に速めるには1KHz以上とする必要がある一方、100KHz以下であれば上記インバータ電源のエネルギー効率が的確に向上するからである。尚、この周波数は、0.1Hz～10GHzの範囲内にあれば充分な効果を発揮できるものである。これは、仮に0.1Hz以下であれば交番電圧としての役割を果たし得ない特性となってしまう、また10GHz以上であれば正弦波形と同様の作用効果を得られるに留まり有効なパルス波形としての特性が得られなくなるからである。

【0054】図4に示すように、この実施例に係るプラズマ生成装置1は、その付加的要素として、上記筒状体2の一方側における中央部に配設されて両電極6間の隙間近傍の光強度を検出するフォトダイオード等である光強度検出手段15と、上記インバータ電源11で生成される交番電圧の電圧値を変化させるための電圧値可変用回路16と、上記交番電圧の周波数を変化させるための周波数可変用回路17と、上記交番電圧のデューティ比を変化させるためのデューティ比可変用回路18とを備えている。加えて、このプラズマ生成装置1は、上記光強度検出手段15からの信号に基づいて上記三種の可変用回路16、17、18を制御する制御手段19を備えている。この場合、制御手段19が制御を行う対象である可変用回路としては、必ずしも上記のように三種である必要性はなく、これらの中のいずれか一つ或いは二種であっても差し支えない。

【0055】そして、上記制御手段19は、光強度検出手段15からの信号に基づいて、交番電圧の電圧値、周波数、デューティ比を適宜変化させることにより、プラズマの光強度が常に一定となるようにフィードバック制御を行う構成である。このようにプラズマの光強度が一定であれば、プラズマの状態も一定の状態に維持されていることになるから、上記のようにフィードバック制御を行うことにより、プラズマが生成されている途中で目的に反してその光強度が変化して不安定な状態になる等の不具合が回避され、プラズマを長時間にわたって所望の安定状態に維持し続けることが可能になる。尚、上

記筒状体2に取り付けられている導入管9には、流量計20を介してガス容器21が接続されている。

【0056】図5に示すように、制御手段19が上述の三種（またはいずれか一つもしくは二種）の可変用回路16、17、18を制御する場合の他の態様として、光強度検出手段15に代えて、上記両電極6間を流れる電流値を検出する電流計等である電流値検出手段22が配備される。また、更なる他の態様として、上記電流値検出手段22に代えて、これと同様の箇所に、上記両電極6間のインピーダンスを検出する電流計及び電圧計の組合せ等であるインピーダンス検出手段が配備される。そして、この場合においても、上記制御手段19は、電流値検出手段22もしくはインピーダンス検出手段からの信号に基づいて、交番電圧の電圧値、周波数、デューティ比を適宜変化させることにより、両電極6間の電流値もしくはインピーダンスが常に一定となるようにフィードバック制御を行う構成である。

【0057】次に、以上のような構成からなるプラズマ生成装置1の作用を説明する。

【0058】先ず、上記プラズマ生成装置1を使用して高分子材料の表面処理を行う場合について説明すると、フッ素元素を含むガスを導入管9を通じて反応室Xに導入しておくと共に、インバータ電源11の動作によりパルス波形を呈する交番電圧を電極6に印加させてプラズマを生成する。そして、このプラズマ中に、プラスチックシート或いはプラスチック部品の表面を晒すことにより、フッ素コーティングされた撥水性に富む表面状態が得られる。一方、上記反応室X内に酸素元素及び/または窒素元素を含むガスを導入して上記と同様にプラズマ化し、このプラズマ中に、プラスチックシート或いはプラスチック部品の表面を晒した場合には、上記とは逆に親水性に富む表面状態が得られる（この理由は既述の通り）。また、上記プラズマ生成装置1を使用してセラミック材料の表面処理を行う場合についても、同様にして撥水性または親水性に富む表面状態が得られる。尚、セラミック材料については、窒素元素、ホウ素元素、炭素元素、または珪素元素を含むガスのプラズマ中に晒すことにより、その表面硬化を図ることも可能である。詳しくは、窒素に関しては、セラミック材料の表面に窒化処理が施されるのに対して、ホウ素、炭素または珪素に関しては、これらの薄膜がセラミック材料の表面に形成されるのである。

【0059】また、ヘリウムやアルゴン等の不活性ガスを反応室Xに導入してプラズマ化し、このプラズマ中に、プラスチックシート或いはプラスチック部品の表面を晒した場合には、当該プラズマが有している運動エネルギーによりその表面が乱雑に叩打された状態になり、この結果として、メッキ工程における前処理に有効利用可能な凹凸を有する表面状態が得られる。

【0060】一方、上記プラズマ生成装置1を使用して

金属材料の表面処理を行う場合について説明すると、炭素元素を含むガスを反応室Xに導入してプラズマ化し、このプラズマ中に、ステンレス、銅、アルミなどの表面を晒すことにより、その表面にカーボンの薄膜が形成される。また、珪素元素を含むガスを反応室Xに導入してプラズマ化し、このプラズマ中に、ステンレス、銅、アルミなどの表面を晒した場合には、その表面にアモルファスシリコンの薄膜が形成される。更に、ホウ素元素を含むガスを反応室Xに導入してプラズマ化し、このプラズマ中に、ステンレス、銅、アルミなどの表面を晒した場合には、その表面にボロンの薄膜が形成される。加えて、窒素ガスを反応室Xに導入してプラズマ化し、このプラズマ中に、ステンレス、銅、アルミなどの表面を晒した場合には、その表面部にチッ化処理が施される。

【0061】また、上記プラズマ生成装置1を使用して生体代替品や生体装着品の表面処理を行う場合について説明すると、酸素元素及び／または窒素元素を含むガスを反応室Xに導入してプラズマ化し、このプラズマ中に、人工骨、人工血管、人工角膜、或いはコンタクトレンズなどの表面を晒すことにより、親水性に富んだ表面状態が得られる（この理由は既述の通り）。尚、人工血管は高分子材料で形成されているが、炭素元素を含むガスのプラズマ中に人工血管の内表面を晒して、その内表面にカーボンの薄膜を形成することにより、当該内表面が滑らかになり、抗血栓性が向上するという利点も得られる。

【0062】更に、上記プラズマ生成装置1を使用して汚染物の表面処理を行う場合について説明すると、種類については無制約のいずれかのガスを反応室Xに導入してプラズマ化し、この高温状態のプラズマ中に、汚染物の表面を晒すことにより、その表面に付着しているタンパク質等の有機物やDNAが熱分解され、これによりその表面が消毒された状態になる。

【0063】加えて、上記プラズマ生成装置1を使用して焼却炉等からの排出ガス中に含有されているNO<sub>x</sub>やダイオキシンを除去する場合について説明すると、先ず、焼却炉等の排気通路の途中或いは末端部に、基本的には図1に示すものと同一の構成を有するプラズマ生成装置1を付設する。この場合には、上記プラズマ生成装置1において生成されるプラズマ中を、上記排出ガスが必ず通過するように構成しておく。このような構成としておけば、種類については無制約のいずれかのガスを反応室Xに導入してプラズマ化し、この高温状態のプラズマ中に上記排出ガスを晒すことにより、NO<sub>x</sub>やダイオキシンが熱分解され、これにより排出ガス中の有害成分が低減もしくは除去された状態になる。

【0064】また、上記プラズマ生成装置1を使用して遺伝子交換現場から排出される汚染空気中の有機物やDNAを除去する場合について説明すると、先ず、遺伝子交換現場が存在している部屋等の換気扇の外方に、基本

的には図1に示すものと同一の構成を有するプラズマ生成装置1を付設する。この場合には、上記プラズマ生成装置1において生成されるプラズマ中を、上記換気扇を通じて放出された汚染空氣が必ず通過するように構成しておく。このような構成としておけば、種類については無制約のいずれかのガスを反応室Xに導入してプラズマ化し、この高温状態のプラズマ中に上記排出ガスを晒すことにより、有機物やDNAが熱分解され、これにより汚染空気中の有害成分が低減もしくは除去された状態になる。

【0065】以上のように、本願発明に係るプラズマ生成装置1は、各種の表面処理やガス処理に利用できるものであるのは勿論のこと、当該装置1の構成要素であるインバータ電源11は、高圧直流電源12とMOSFET素子やTTL素子等の小型スイッチング回路13とにより構成されており、而も集積回路化が可能であることから、装置の簡素化、小型化、低コスト化、並びに消費電力の節減が図られることになる。また、上記インバータ電源11が創出する電圧は、パルス波形を呈する電圧であることから、従来の正弦波電圧に比して電源効率が向上し、電力消費量の更なる節減や、冷却装置が不要となることによる装置の更なる小型化等が図られることになる。

【0066】更に、上記インバータ電源11が創出するパルス電圧は、極性が所定の周期で反転する交番電圧であることから、この交番電圧に基づいて生成されたプラズマ中に被処理物を晒しても、上記被処理物の表面に正の電荷のみ又は負の電荷のみが蓄積されることはなくなり、チャージアップに起因する弊害等が回避される。これにより、従来に比して良好且つ均一なプラズマを容易に生成することが可能になると共に、上記被処理物に対してもスムーズな処理が行えることになる。

【0067】また、この種のパルス電圧は、その立ち上がりが瞬時に行われるため、一対の電極間における絶縁性が広範囲にわたって均一に損なわれることになり、これにより局所的な電界の集中発生に伴うプラズマの偏在が回避され、電極相互間における均一なプラズマの生成が可能になる。

【0068】加えて、この種のパルス電圧は、その立ち下がりも瞬時に行われるため、アークプラズマが生成されなくなると共に、アークプラズマの発生を未然に阻止するための高真空雰囲気が必要になり、低真空中や大気中においても良好にプラズマを生成することが可能になることから、高価なターボ分子ポンプ等を備える必要がなくなって、安価なロータリーポンプ等を備えるのみで充分となる。そして、上述のプラズマ利用表面処理やプラズマ利用ガス処理を大気中で行うことが可能になることから、従来は困難或いは不可能であったガス処理等が容易に行えるようになるばかりでなく、装置のコストダウンに大きく寄与できることになる。

10

20

30

40

50

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本願発明の実施例に係るプラズマ生成装置の本体部分の外観を示す斜視図である。

【図2】本願発明の実施例に係るプラズマ生成装置のインバータ電源を示す概略回路図である。

【図3】本願発明の実施例に係るプラズマ生成装置のインバータ電源により生成されるパルス電圧の特性を示す概略図である。

【図4】本願発明の実施例に係るプラズマ生成装置の全体構成を示す概略図である。

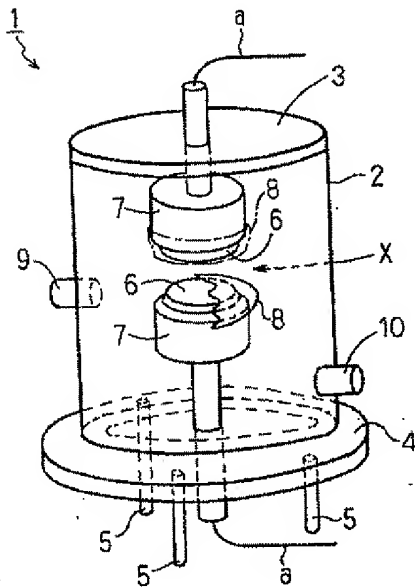
【図5】本願発明の他の実施例に係るプラズマ生成装置\*

\*の全体構成を示す概略図である。

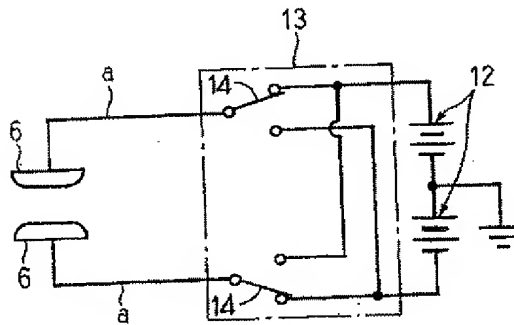
## 【符号の説明】

- 1 プラズマ生成装置
- 6 電極
- 11 インバータ電源
- 12 高圧直流電源
- 13 小型スイッチング回路
- 15 光強度検出手段
- 19 制御手段
- 22 電流値検出手段（インピーダンス検出手段）

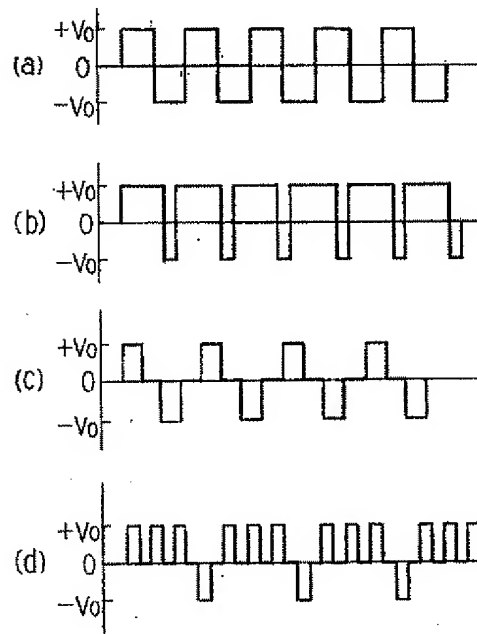
【図1】



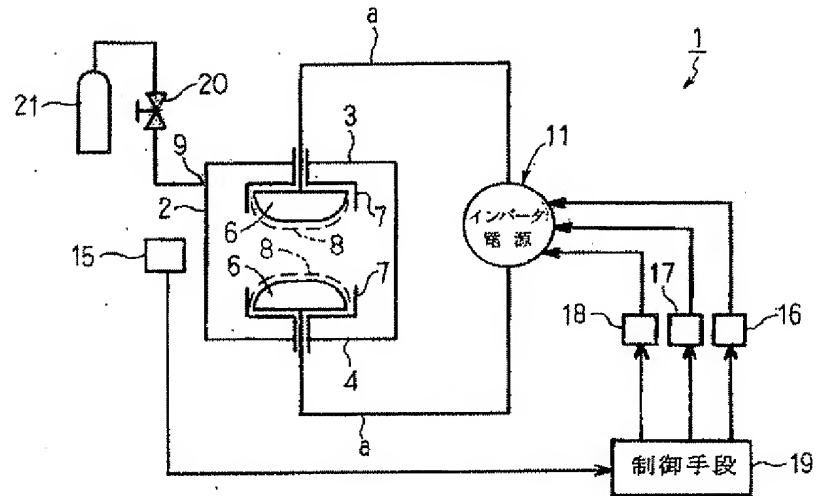
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

